

51

Int. Cl. 2:

**G 01 D 5/243**

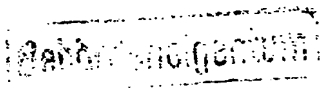
19 **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

G 01 B 7/22

F 16 B 31/02

G 01 L 1/14

**DEUTSCHES PATENTAMT**



**DE 27 27 173 A 1**

11

# **Offenlegungsschrift 27 27 173**

21

Aktenzeichen:

P 27 27 173.4

22

Anmeldetag:

16. 6. 77

43

Offenlegungstag:

30. 3. 78

50

Unionspriorität:

22 23 31

24. 9. 76 V.St.v.Amerika 726140

54

Bezeichnung:

Mikroverlagerungstransducer

71

Anmelder:

Popenoe, Charles H., Bethesda, Md. (V.St.A.)

74

Vertreter:

Kador, U., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Klunker, H.-F., Dr.-Ing.;  
Pat.-Anwälte, 8000 München

72

Erfinder:

gleich Anmelder

**DE 27 27 173 A 1**

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Mikroverlagerungstransducer, dadurch g e k e n n -  
z e i c h n e t , daß er einen Körper (4) aus Isola-  
tionsmaterial aufweist, eine elektrische Spule (2) auf  
einer Fläche des Körpers, eine erste Kondensatorplatte  
5 (10) auf der entgegengesetzten Fläche des Körpers und  
eine erste Einrichtung (6), welche die Kondensatorplat-  
te (10) elektrisch mit einem Ende der Spule (2) ver-  
bindet, daß er weiterhin eine zweite Kondensatorplatte  
(12) aufweist, welche der ersten Platte (10) benach-  
10 bart angeordnet und relativ zu dieser hin- und herbe-  
wegbar ist und eine zweite Einrichtung (8), welche  
die zweite Platte (12) mit dem anderen Ende der Spu-  
le (2) verbindet, wobei Spule (2) und die Platten (10,  
12) einen Schwingkreis bilden, dessen Resonanzfrequenz  
15 sich mit der Bewegung der zweiten Platte (12) relativ  
zur ersten Platte (10) ändert.
2. Transducer nach Anspruch 1, dadurch g e k e n n -  
z e i c h n e t , daß zwischen den Platten (10, 12)  
20 ein Film (14) aus dielektrischem Material angeord-  
net ist.
3. Transducer nach Anspruch 1 oder 2, dadurch g e -  
k e n n z e i c h n e t , daß der Körper (4) eine im  
25 wesentlichen zylindrische Spule ist, die eine umlau-  
fende Nut aufweist, wobei eine Seitenfläche der Nut  
und die Unterseite der Spule die Fläche und die entgegen-  
gesetzte Fläche darstellen und die Spule aus einer  
Reihe von Drahtwindungen (2) besteht, die in der Nut  
30 angeordnet sind und auf der Seitenfläche der Nut auf-  
liegen.

4. Transducer nach Anspruch 1, dadurch g e k e n n -  
z e i c h n e t , daß der Körper die Form einer fla-  
chen Scheibe (30) aufweist, wobei auf einer Fläche  
der Scheibe (30) eine Spule in Form einer Spiralspu-  
5 le (32) aus Metallfolie aufgebracht ist und die erste  
Kondensatorplatte (34) eine Metallfolienschicht auf  
der anderen Seite der Scheibe (30) ist und daß die  
erste Einrichtung zur Verbindung von Spule und Kon-  
densatorplatte eine leitende Folie ist, die sich zum  
10 Zentrum der Spule (32) durch ein Loch (36) zu Platte  
(34) erstreckt.

5. Transducer nach Anspruch 1, dadurch g e k e n n -  
z e i c h n e t , daß der Körper aus einem Blatt elek-  
15 trischen Isoliermaterials besteht, wobei die ersten  
und zweiten Platten (70, 72) Folienschichten auf un-  
terschiedlichen Flächenteilen des Körpers sind und die  
Spule getrennte Spulenbereiche (64, 66) auf unterschied-  
lichen Teilen des Blattmaterials aufweist, wobei jeder  
20 Bereich eine spiralförmige Folie auf der Oberfläche  
des Blattmaterials darstellt und das Blattmaterial  
so zusammengefaltet ist, daß die Spulenbereiche (64,  
66) konzentrisch übereinander zu liegen kommen und  
die Platten (70, 72) einander gegenüberliegen.

25 6. Transducer nach Anspruch 1, dadurch g e k e n n -  
z e i c h n e t , daß der Körper ein blattförmiger Bo-  
gen (44) elektrischen Isoliermaterials ist, daß die  
Platten (46, 48) aus Metallfolien auf verschiedenen  
30 Bereichen einer Fläche des Bogens bestehen und die  
Spulen (50, 52) Spiralspulen sind, welche jede der  
Metallfolienplatten (46, 48) auf einer Fläche des

Blattmaterials umgeben und das Blatt (44) so zusammen-  
gefaltet ist, daß die unterschiedlichen Bereiche der  
einen Fläche, die Platten (46, 48) und die Spulen-  
bereiche (50, 52) benachbart zu liegen kommen.

5

7. System zur Feststellung von Zugspannungen, dadurch  
g e k e n n z e i c h n e t , daß es ein Element (20)  
aufweist, das sich bei Beaufschlagung mit Zugspannung  
verformt, wobei ein Bereich des Elementes (20) sich  
10 gegenüber einem anderen Bereich verschiebt, daß es  
weiterhin einen Schwingkreis aufweist, der von dem  
Element (20) getragen wird, wobei der Schwingkreis  
einen induktiven Teil und einen kapazitiven Teil  
enthält, und einer dieser Teile fest an einem Be-  
15 reich des Elementes (20) befestigt ist und der  
andere der Teile relativ zueinander verschiebbliche  
Unterteile aufweist, deren einer relativ zu einem  
Bereich des Elementes (20) fixiert ist und deren  
anderer mit dem anderen Bereich des Elementes (20)  
20 verbunden ist, wobei eine Verformung des Elementes  
(20) die Resonanzfrequenz des Schwingkreises ändert  
und weiterhin bestehend aus einer äußeren Einrich-  
tung (90), welche in die Nähe des Elementes (20) ge-  
bracht werden kann und eine Einrichtung zur Erregung  
25 des Schwingkreises aufweist, mit welcher der Schwing-  
kreis in Resonanz gebracht werden kann und die Re-  
sonanzfrequenz feststellbar ist.

8. System nach Anspruch 7, dadurch g e k e n n -  
30 z e i c h n e t , daß die relativ zueinander be-  
weglichen Unterteile des anderen Teils aus einan-  
der gegenüberliegenden Kondensatorplatten bestehen.

- 5 -

809813/0667

9. System nach Anspruch 7, dadurch g e k e n n -  
z e i c h n e t , daß die relativ zueinander beweg-  
lichen Unterteile des anderen Teils aus relativ  
zueinander verschiebbaren Bereichen einer Induk-  
5 tionsspule bestehen.

10. System nach Anspruch 7, dadurch g e k e n n -  
z e i c h n e t , daß die Spulen- und Kondensator-  
teile wenigstens eine im wesentlichen flache Induk-  
10 tionsspule und wenigstens zwei im wesentlichen flache  
Kondensatorplatten aufweisen, die jeweils auf einer  
flachen isolierenden Einrichtung befestigt sind, und  
daß alle Teile so geschichtet sind, daß sie eine dün-  
ne laminare Anordnung bilden, und daß der relativ be-  
15 wegliche Bereich an einem Ende der Schichtanordnung  
liegt.

11. System nach Anspruch 7, dadurch g e k e n n -  
z e i c h n e t , daß die Anordnung in einer Ausneh-  
20 mung (26) einer Oberfläche des Elementes (20) ange-  
ordnet ist, wobei das Induktionsteil (2) außen liegt,  
wodurch die Anordnung durch induktive Kopplung mit  
der separaten Einrichtung (90) leicht in Resonanz  
gebracht werden kann.

**PATENTANWÄLTE**  
**DR. KADOR & DR. KLUNKER**

**2727173**

Patentanwälte Kador & Klunker Knebelstr. 36 8 München 22

- 5 -

DR. ING. H. F. KLUNKER (DIPL. ING.)  
DR. RER. NAT. U. KADOR (DIPL. CHEM.)

Knebelstrasse 36  
D-8 München 22  
Telefon: 089-224164  
Telegramm: hel pat  
Telex: 5-22903

Ihr Zeichen:/Your ref.:

Unser Zeichen:/Our ref.: K 11882/73 Tag/Date

Betr.:/Re:

Charles H. Popenoe  
6307 Wiscasset Road

Bethesda, Maryland 20016  
USA

---

**Mikroverlagerungstransducer**

---

- 2 -

**809813/0667**

Die Erfindung betrifft einen Mikroverlagerungstransducer, welcher in der Lage ist, kleine Verlagerungen in der Größenordnung von 0,025 mm festzustellen.

- 5 Es sind bereits verschiedene Arten von Mikroverlagerungsaufnehmern bekannt, welche kleine Verlagerungen durch eine Änderung der Farbtintensität eines sichtbaren Indikatorbereiches anzeigen. Solche Indikatoren werden üblicherweise bei Spannschrauben eingesetzt, um die Änderungen der Längung oder Verformung der Schrauben infolge von äußeren Krafteinwirkungen festzustellen, so daß bei einer vorbestimmten Belastung bzw. Zugspannung in der Spannschraube der Indikator eine bestimmte Farbe oder Helligkeit annimmt. Ein bekannter Nachteil solcher visuellen Indikatoren liegt in der subjektiven Natur der individuellen Farbfeststellung, so daß die Genauigkeit dieser Einrichtungen vom Beurteilungsvermögen der Bedienungsperson abhängt, die beurteilen muß, ob die gewünschte Farbänderung stattgefunden hat oder nicht. Durch eine photometrische Instrumentierung zur Reflexionsmessung des Indikatorelements kann der subjektive Aspekt der Messung eliminiert werden, diese Messung wird jedoch wiederum durch Veränderungen des Meßergebnisses hinsichtlich Auswanderung, Reflexionen oder Schmutz im Indikatorfenster beeinflußt.

- Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen genauen Mikroverlagerungstransducer zu schaffen, der ähnlich wie die vorstehenden Einrichtungen angewendet werden kann, bei dem jedoch das Moment der individuellen Beurteilung durch eine Bedienungsperson entfällt.

Es ist weiterhin die Aufgabe der Erfindung, einen Mikroverlagerungstransducer zu schaffen, der ohne Schwierigkeiten in Massenproduktion zu niedrigem Stückpreis hergestellt werden kann, so daß die Transducer auch in geringwertigen Gegenständen, wie Stollendachschrauben verwendet werden können, ohne daß die Kosten dieser Gegenstände unzumutbar erhöht werden. Die Aufgabe der Erfindung wird ferner darin gesehen, einen Mikroverlagerungsaufnehmer zu schaffen, der induktiv mit einer elektronischen Ausleseeinrichtung gekoppelt werden kann, die wahlweise in der Nähe des Transducers positionierbar ist und mit welcher eine Messung des Verlagerungszustandes des Transducers möglich ist, ohne daß die Notwendigkeit für einen tatsächlichen Kontakt oder elektrische Verbindungen besteht.

Die Aufgabe der Erfindung wird weiterhin darin gesehen, einen Mikroverlagerungstransducer zu schaffen, der eine digitale Anzeige liefert, wie beispielsweise eine Frequenz als Funktion einer Mikroverlagerung, so daß die Messung dieser Verlagerungen keine Funktion der Amplitude oder einer Auswanderung des Meßinstrumentes ist, sondern eine leicht bestimmbare Größe wie beispielsweise eine Frequenzzahl.

Ein wichtiger Vorteil der Erfindung liegt in der leichten Anpassungsfähigkeit der automatischen Anordnung und einer Kalibrierung der Transducer in den zum Einsatz kommenden Gegenständen, wie beispielsweise Spannschrauben mit Spannungsanzeige.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß



der Transducer die Form eines auf Radiofrequenz abgestimmten Schwingkreises aufweist, wobei ein Element des Schwingkreises sich entsprechend der zu messenden Verlagerung verändert. Die natürliche Resonanzfrequenz des abgestimmten Schwingkreises wird sich  
5 somit proportional zu einer auf das variable Element einwirkenden Verlagerung ändern. Der Transducerschwingkreis kann mittels eines äußeren Testoszillators so angeregt werden, daß er in seiner natürlichen Resonanzfrequenz schwingt, wobei der Testoszillator eine  
10 Kopplungsspule aufweist, die in die Nähe des induktiven Elements des Transducers gebracht wird. Wenn die Kopplungsspule des externen Oszillators in die Nähe des induktiven Elements des Transducers gebracht wird,  
15 werden die zwei Schwingkreise durch gegenseitige induktive Kopplung wirksam zusammengekuppelt. Da die Frequenz des Testoszillators über einen bestimmten Bereich geändert wird, sind die im Transducerschwingkreis induzierten Oszillationen von kleiner Amplitude,  
20 bis der Testoszillator die Resonanzfrequenz des abgestimmten Transducerkreises erreicht. An dieser Stelle bilden die Schwingungen einen "peak" bzw. steigen in ihrer Amplitude scharf an. Im Transducerschwingkreis entwickelt sich dadurch ein hoher Zirkulationsstrom,  
25 der sich im Testoszillator als hoher Scheinwiderstand bemerkbar macht, durch welchen die Amplitude der Schwingung herabgedrückt wird. Durch eine Feststellung dieses Abfalls oder auch "dips" kann die Resonanzfrequenz des Transducers und damit die Verlagerung des variablen  
30 Elements bestimmt werden. Testoszillatoren sind im Handel unter dem Namen "Peil-Meter" oder auch "Peil-Oszillator" erhältlich. Sie können dazu verwendet werden, die Resonanzfrequenz der Transducer entsprechend vor-

stehender Beschreibung festzustellen. Eine bessere Leistung und ein besseres Koppeln kann jedoch mit Instrumenten erreicht werden, die für den spezifischen Zweck entworfen sind.

5

Die Bestimmung der Verlagerung des Transducers ist vollständig unabhängig von der Amplitude des Antwortsignals und ist lediglich von der Frequenz der Resonanzschwingung abhängig, welche einer digitalen Messung ohne weiteres zugänglich ist. Digitale Messungen können üblicherweise mit größerer Genauigkeit durchgeführt werden, als die Messung einer analogen Größe, da die Auswanderung der Instrumente und Vergrößerungsinstabilitäten digitale Messungen nicht beeinflussen.

10

15 Die Genauigkeit einer Frequenzzählung ist allein von der Stabilität der Zeitbasis abhängig. Mit einer schwingkristall-gesteuerten Zeitbasis können Stabilitäten von 1 PPM ohne Schwierigkeiten erreicht werden. Die Genauigkeit, mit welcher die Resonanzfrequenz des Transducers bestimmt werden kann, ist daher lediglich von der Fähigkeit abhängig, den "peak" oder "dip" bzw. das Maximum oder Minimum des Antwortsignals aufzulösen. Dies ist jedoch eine Funktion der Schärfe des Antwortpeaks des Transducerresonanzkreises, welche vom Q-Faktor des Schwingkreises abhängt. Da der Q-Faktor einfach das Verhältnis des Blindwiderstandes zum Ohm'schen Widerstand der Schaltung darstellt, können die Transducer so ausgelegt werden, daß sie eine größtmögliche Induktivität oder Kapazität und einen kleinstmöglichen Ohm'schen Widerstand aufweisen, um somit einen hohen Q-Wert sicherzustellen.

20

25

30

5 Fig. 1A eine schematische Ansicht eines Schwingkreises,

10

15

20

25

**Fig. 6**

30

- Fig. 8 eine Draufsicht auf eine Seite einer weiteren Form eines Schwingkreises in einem Zwischenstadium,
- 5 Fig. 9 eine Draufsicht auf die andere Seite des Schwingkreises nach Fig. 8,
- Fig. 10 eine perspektivische Ansicht des zusammengefalteten Schwingkreises nach den Fig. 8 und 9,
- 10 Fig. 11 eine Ansicht, wie die Erfindung benutzt wird, und
- 15 Fig. 12 und 13 Schaltbilder geeigneter Peil-Oszillatoren.

Der Transducer besteht aus einem Schwingkreis mit einer Spule L und einem Kondensator C, die in Serie geschaltet sind, wie dies schematisch in Fig. 1A dargestellt ist. Die körperliche Ausbildung der Schaltung ist in Fig. 1B gezeigt. Solche Transducer, wie sie in Fig. 2 dargestellt sind, sind bereits gebaut worden und bestehen aus einer Induktionsspule mit sechzig Drahtwindungen 2, die auf eine dünne Plastikspule 4 von

25 ca. 15,88 mm Durchmesser und 3,18 mm Dicke gewickelt sind. Die Anschlüsse 6 und 8 der Spule sind mit zwei Scheiben 10 und 12 aus dünner Kupferfolie verbunden, die durch einen isolierenden dielektrischen Film 14 getrennt sind; die Kombination von Scheiben und Film

30 wirkt als kapazitives Element. Die obere Folienscheibe 10 und der dielektrische Film 14 sind mit der Unterfläche der Spule 4 verklebt, die untere Folienscheibe 12 ist mit der Unterfläche der Spule 4 verklebt.

scheibe 12 kann sich frei der oberen Scheibe 10 entweder nähern oder sich von ihr entfernen, je nach der Verschiebung eines mit einem Kopf versehenen Betätigungsstiftes oder Elementes 16 relativ zu einem Stützkörper 18. Die Verlagerung des Stiftkopfes bewirkt  
5 somit eine Veränderung der Kapazität des Kondensators, was zu einer entsprechenden Änderung der Resonanzfrequenz des Schwingkreises führt.

10 In Fig. 3 ist der Transducer von Fig. 2 in seiner Anwendung auf ein spannungsanzeigendes Befestigungselement in Form eines Bolzens 20 gezeigt, wobei die bewegliche Kondensatorplatte von Stift 16 innerhalb des Bolzenschaftes betätigt wird. Dies stellt eine typische  
15 Anwendung der Erfindung dar, bei welcher ein abgestimmter Transducer angewandt wird, um ohne Berührung oder elektrische Verbindungen eine elektronische Anzeige der tatsächlich im Schaft des Bolzens oder Befestigungsmit-  
20 tels herrschenden Spannung zu erhalten. Der Bolzen weist eine axiale Bohrung 22 auf, in welcher Stift 16 lose angeordnet ist. Der Stift ist jedoch am Boden 24 der Bohrung des Bolzens mit diesem fest verbunden, so daß er sich lediglich im Bereich des oberen Endes des Bolzens relativ zu diesem bewegen kann. Der Bolzen hat  
25 einen scheibenförmigen Kopf, der sich im wesentlichen quer zur Stiftachse erstreckt. Ein Mikroverlagerungstransducer, wie er in Fig. 2 gezeigt ist, ist in einer flachen Ausnehmung 26 im Bolzenkopf so angeordnet, daß der Kopf des Stiftes 16 an der Unterfläche der beweg-  
30 lichen Kondensatorplatte 12 anschlägt oder mit dieser verklebt ist. Wenn der Bolzen mit einer Spannung beaufschlagt wird, wie sie beim Festziehen des Bolzen-

kopfes gegen eine starre Struktur auftritt, verlängert sich der Bolzenschaft entsprechend dem Hook'schen Gesetz und der Kopf des Bezugs-Stiftes 16 wird relativ zum Transducer- und Bolzenkopf nach abwärts gezogen, was zu einer Vergrößerung des Spaltes zwischen den beiden Kondensatorplatten und damit zu einer Abnahme der Kapazität des abgestimmten Schwingkreises im Verhältnis zur auf den Bolzen aufgebrauchten Zugspannung führt. Die Resonanzfrequenz des Transducers wird dabei vergrößert. Die Frequenz kann durch ein separates Peil-Meter oder auch einen Peil-Oszillator gemessen werden, dessen Koppelspule so nah an den Transducer herangebracht wird, daß die beiden Spulen induktiv gekoppelt werden. Auf diese Weise kann die im Befestigungsmittel auftretende Spannung während der Installation und zu jedem beliebigen späteren Zeitpunkt bequem ermittelt werden.

In Fig. 4 ist eine graphische Darstellung des Ansprechens eines solchen Mikroverlagerungstransducers dargestellt, die mittels eines Peil-Oszillators gemessen wurde. Wenn die Frequenz des Peil-Oszillators geändert wird, bleibt das Antwortsignal relativ flach, bis die Resonanzfrequenz des Transducers erreicht ist. An dieser Stelle ergibt sich eine scharfe Einsenkung, die in der Figur mit 28 bezeichnet ist und bei etwa 10 MHz liegt. Nachdem die Einsenkung lokalisiert ist, kann die Frequenz des Peil-Oszillators im Minimum mittels eines Frequenzzählers genau bestimmt werden. Wenn die Resonanzfrequenz des Transducers bei einer Reihe von unterschiedlichen Verlagerungen des Stiftes 16 bestimmt wird und die Ergebnisse aufgezeichnet, ergibt

sich eine nahezu lineare Beziehung zwischen der Resonanzfrequenz und der aufgetretenen Verlagerung. Eine solche Kurve ist in Fig. 5 wiedergegeben. Es kann gezeigt werden, daß die tatsächliche Beziehung eine Parabelkurve ist, wobei die Resonanzfrequenz des Transducers etwa der Quadratwurzel der aufgetretenen Verlagerung proportional ist.

- 10 In Fig. 6 ist eine weitere Form des Transducers gezeigt, der auf eine doppelseitige Schaltungsplatte 30 aus isolierendem Material aufgeätzt ist. Eine flache Spule 32 ist auf die Oberseite der Platte mittels eines Verfahrens eingätzt, das von der Herstellung "gedruckter Schaltungen" bekannt ist.
- 15 Eine Kondensatorplatte 34 ist in ähnlicher Weise in die Unterseite der Platte 30 eingätzt, wobei die Verbindung der beiden über ein plattiertes Durchgangsloch 36 im Mittelpunkt der Platte 30 erfolgt. Der äußere Anschluß 38 der Spule ist über
- 20 die Kante der Platte hinweggebogen, um mit einer beweglichen Folienplatte 40 in Kontakt zu kommen, die am Umfang der Unterseite der Platte befestigt ist und mit dem äußeren Anschluß 38 in Kontakt steht und sich bei Betätigung eines äußeren Stiftes oder Elementes, wie es im Bezug auf die Fig. 2
- 25 und 3 bereits beschrieben wurde, bewegt. Die beiden Kondensatorplatten 34 und 40 werden von einem dielektrischen Film 42 getrennt.
- 30 Der Mikroverlagerungstransducer kann alternativ auch mittels bekannter Ätztechniken auf einem flexiblen Kunststofffilm erzeugt werden. Solche Schaltungen

können von geeigneten Geräten automatisch und kontinuierlich zu niedrigem Preis und in hoher Stückzahl hergestellt werden. Eine solche Schaltung ist in Fig. 7 dargestellt. Der Transducer ist auf eine einzige Seite eines schmetterlingsförmigen flexiblen Filmes 44 aufgeätzt, wobei eine etwa 0,025 mm starke Kupferfolie auf einer etwa 0,025 mm dicken Kunststoffgrundfolie verwendet wird. Die Kondensatorplatten 46 und 48 liegen im Mittelpunkt der beiden miteinander verbundenen Filmscheiben 44, die Spule in Form von flachen Wicklungen 50 und 52 umgeben die Kondensatorplatten und sind über eine Folienbrücke 54 verbunden. Die Folienseite der Schaltung ist mit einem sehr dünnen isolierenden dielektrischen Film bedeckt. Die zwei Scheiben werden aufeinandergefoldet, um einen kreisförmigen Transducer zu ergeben, der beliebig verwendet werden kann, beispielsweise auch in einer Anordnung nach Fig. 3. In der Anordnung nach Fig. 3 ist die Unterfläche des flexiblen Transducers der Fig. 7 mit einem nicht-metallischen Scheibenelement (nicht gezeigt) verklebt, das an seinem Umfang in einer Ausnehmung im Kopf des Befestigungsmittels angeordnet ist. Die Betätigungsweise ist ähnlich zu der bereits vorbeschriebenen.

In den Fig. 8, 9 und 10 ist eine weitere Ausbildung einer flexiblen Schaltung gezeigt, welche den Vorteil aufweist, daß sie bei gleichem äußerem Durchmesser gegenüber der in Fig. 7 gezeigten Ausbildung eine erhöhte Induktivität und Kapazität aufweist. Die Resonanzfrequenz wird dadurch erniedrigt und der Q-Wert des Schwingkreises erhöht, was zu einer größeren Genauigkeit und einer Verminderung



- möglicher Instrumentierungsprobleme führt. Aus den Fig. 8 und 9 ist ersichtlich, daß die Schaltung zwei Seiten aufweist, wobei die Verbindungen zwischen den Seiten über plattierte Durchgangslöcher hergestellt wird. Drei
- 5 Scheiben 56, 58 und 60 aus flexiblem isolierendem Filmmaterial sind über Brücken 62 einstückig verbunden. Die Induktionsspulen 64 und 66 sind in die einander gegenüberliegenden Seiten der Scheibe 58 eingeztzt. Eine
- 10 zusätzliche Spule ist auf eine Seite der Scheibe 56 eingeztzt. Die andere Seite der Scheibe 56 weist eine eingeztzte Kondensatorplatte 70 auf, während die Seite der Platte 60, die den Spulen 66 und 68 entspricht, mit einer eingeztzten Kondensatorplatte 72 versehen ist.
- 15 Ein Ende der Spule 64 ist über einen durch das plattierte Loch 76 laufenden Filmstreifen mit Platte 72 verbunden. Das Zentrum der Spule 64 ist mit dem Zentrum der Spule 66 über das plattierte Loch 78 verbunden. Die
- 20 Spulen 66 und 68 sind mit Folienstreifen 80 verbunden. Das Zentrum der Spule 68 ist mit Platte 70 über das plattierte Loch 82 verknüpft. Die vorstehend beschriebene flexible Schaltung wird, wie in Fig. 10 gezeigt, an den Brücken 62 um ein nicht-metallisches Scheibenelement 84 gefaltet, so daß die drei Spulenelemente
- 25 oberhalb der beiden Kondensatorplatten zu liegen kommen. Eine Bewegung der unteren Kondensatorplatte 72 relativ zur oberen Platte 70 verändert die Kapazität des Kondensators und damit die Resonanzfrequenz des Transducers.
- 30 Ein gemäß Fig. 10 ausgebildeter Transducer kann offensichtlich in einem Bolzen od. dgl. in der in Fig. 3 gezeigten Art angeordnet werden.

Eine wichtige Eigenschaft der Transducer mit aufgeätzten Induktionsspulen auf ihrer außen liegenden Oberfläche, wie die Transducer nach den Fig. 6 und 7 bzw. 8 bis 10 ist diejenige, daß die Resonanzfrequenz durch Kurzschliessen einer Reihe von Spulenwindungen getrimmt bzw. eingestellt werden kann. Durch diese Möglichkeit kann die Resonanzfrequenz nach dem Einbau genau eingestellt werden und damit Herstellungstoleranzen der Produkte, welche in den Transducer eingebaut sind, kompensiert werden. Es ist beispielsweise gut bekannt, daß die mechanischen Eigenschaften unterschiedlicher Bolzen mit scheinbar identischen Abmessungen und Materialien stark variieren. Dies bewirkt wiederum eine ähnliche Variation in der Biegung oder Längung identischer Bolzen, die mit identischen Zugspannungen beaufschlagt werden und führt in der Folge zu einer Änderung der Resonanzfrequenz der in die spannungs-anzeigenden Bolzen eingebauten Transducer. Diese Variation kann während des Herstellungsverfahrens "auskalibriert" werden, indem jeder Bolzen nach Einbau des Transducers mit einer bestimmten genauen Zugspannung beaufschlagt wird und die Resonanzfrequenz bei der bekannten Belastung gemessen wird. Wenn die gemessene Frequenz von der gewünschten Frequenz abweicht, werden so lange Spulenwindungen kurzgeschlossen, bis die gewünschte Frequenz erreicht ist. Auf diese Weise können alle spannungs-anzeigenden Bolzen so eingestellt werden, daß sie im geplanten Belastungszustand identische Frequenzen anzeigen.

30

Wie bereits erwähnt, kann die Resonanzfrequenz der abgestimmten Schwingkreistransducer gemäß der Erfin-

5      dung durch im Handel erhältliche "Peil-Meter" festge-  
stellt werden. Eine höhere Genauigkeit und bequemere  
Handhabung wird jedoch durch die Verwendung eines  
stärker spezialisierten Meßsystems erreicht. Ein sol-  
ches Meßsystem soll nachstehend beschrieben werden.  
Obwohl die beschriebenen Systeme in Wirklichkeit ziem-  
lich kompliziert sind, da die neueste integrierte Schal-  
tungstechnologie angewandt wird, sind die Systeme so  
ausgebildet, daß sie in batteriebetriebene Handinstru-  
10      mente eingebaut werden können, deren Größe etwa der  
eines Taschenrechners entspricht. In Fig. 11 ist solch  
ein Meßsystem gezeigt, daß dazu verwendet werden kann,  
die Zugspannung eines Stollendach-Bolzens 20 festzu-  
stellen, der beispielsweise wie in Fig. 3 gezeigt,  
15      mit einem Mikroverlagerungstransducer 86 ausgerüstet  
ist. Die Messung der tatsächlichen Spannung wird, wie  
anschließend gezeigt wird, innerhalb weniger Sekunden  
durchgeführt, indem einfach das Koppelende 88 des  
Instrumentes 90 in die Nähe oder in Berührung mit dem  
20      Transducer 80 gebracht wird, der im Kopf des Bolzens  
20 eingelagert ist. Wenn das Gerät zurückgezogen wird,  
zeigt die digitale Anzeige 92 des Geräts eine exakte  
Messung der Verlagerung des Transducers, oder im er-  
wähnten Beispiel die Zugspannung im Stollendach-Bolzen.  
25      Die grundlegenden Prinzipien des Meßsystems, mit wel-  
chem die Resonanzfrequenz der abgestimmten Transducer-  
schaltung vollständig automatisch festgestellt wird,  
wird nachstehend in Bezugnahme auf das Blockdiagramm  
30      der Fig. 12 erklärt. Das in Fig. 12 gezeigte elektro-  
nische System ermittelt die Resonanzfrequenz eines  
beliebigen abgestimmten Schwingkreises, wie die der

erfindungsgemäßen Transducer, indem diese auf induktive Weise wirksam mit einer Koppelspule des Systems verbunden werden.

- 5 In Fig. 12 liefert ein frei laufender Funktionsgenerator 94 eine rampenförmige oder dreieckige Wellenschwingung mit relativ niedriger Frequenz, etwa zwischen 1 und 1000 MHz. Die vom Generator 94 gelieferte Spannung wird einem spannungsgesteuerten Oszillator 10  
10 96 aufgegeben, dessen Ausgangssignal eine sinusförmige Welle im Radiofrequenzbereich ist, wobei die genaue Frequenz der Eingangsspannung proportional ist. Das Ausgangssignal von 96 ist daher ein wechselndes Radiofrequenzsignal, das etwa einen Bereich  
15 von 5 bis 15 MHz überstreicht, so daß die Frequenzen, bei welchen die abgestimmten Transducer möglicherweise in Resonanz geraten können, vollständig erfaßt sind. Das Ausgangssignal von 96 treibt eine  
20 Koppelspule 98, die in die Nähe einer abgestimmten Transducerschaltung 86 gebracht wird. Ein Teil des Ausgangssignals von 96 wird einem Gleichlaufoszillator 100 aufgegeben, der die Form einer phasenfixierten Kreisschaltung haben kann, deren Ausgangssignal normalerweise mit der Eingangsfrequenz des spannungsgesteuerten Oszillators 96 gleichläuft und mit die-  
25 ser synchronisiert bleibt. Ein Signal, das dem momentanen Strom, welcher die Koppelspule 98 treibt, proportional ist, wird einem Peildetektor 102 aufgegeben. Diese Schaltung erzeugt einen Ausgangsimpuls im Minimum des "Peil"-Ansprechsignals, wie es  
30 in Fig. 4 gezeigt ist, wenn die Frequenz des spannungsgesteuerten Oszillators 96 geändert wird. Es

108 einen Bereich von etwa 5 bis 15 MHz überstreicht.  
Das Ausgangssignal von 108 wird einer Koppelspule  
110 aufgegeben, die induktiv mit einer abgestimm-  
ten Transducerschaltung 86 gekoppelt ist, wie auch  
5 beim System nach Fig. 12. Ein Minimum bzw. "dip"  
im Strom der gekoppelten Schaltung infolge eines  
Resonanzzustandes zwischen Transducer 86 und Kop-  
pelschaltung 108 und 110 wird wie zuvor von einem  
Peil-Detektor 112 festgestellt. Die Ausgangsspan-  
10 nung des Funktionsgenerators wird dem Eingang einer  
Abtastschaltung 114 aufgegeben, deren Ausgangssignal  
mit der Eingangsspannung in dem Moment übereinstimmt,  
wenn am "sample"-Eingang ein Impuls anliegt. Diese  
Ausgangsspannung wird dann auf ihrem konstanten Wert  
15 gehalten, bis ein weiterer Impuls am "sample"-Eingang  
anliegt. Das Ausgangssignal von 114 wird einer Linearis-  
sier- und Normierschaltung 116 aufgegeben, welche die  
vorerwähnte Quadratwurzelabhängigkeit der Minimum-  
frequenz aufhebt und das Ausgangssignal so normiert,  
20 daß die Ausgangsspannung von 116 der Zugspannung im  
Bolzen in geeigneten technischen Einheiten entspricht.  
Das Ausgangssignal der Linearisier- und Normierschaltung  
116 kann einem Voltmeter für eine Analoganzeige zuge-  
führt werden, oder vorzugsweise einem digitalen Volt-  
25 meter 118, das eine direkte digitale Anzeige der Zug-  
spannungsmessung im Bolzen liefert.

Obwohl sich die vorstehende Beschreibung auf Ausführ-  
ungsformen bezieht, bei welchen die Resonanzfrequenz  
30 des Transducers geändert wird, indem sich die Konden-  
satorplatten relativ zueinander verschieben, ist es  
selbstverständlich, daß die gleichen Ergebnisse er-

halten werden können, wenn Teile der Spulen zueinander oder voneinander bewegt werden, um so ihre Kopplung zu ändern. In diesem Zusammenhang wird festgestellt, daß bei den Ausführungsformen nach Fig. 7 sowohl die  
5 Platten 46 und 48, als auch die Spulen 50 und 52 relativ zueinander verlagert werden können.

Sämtliche Einzelheiten der vorstehenden Beschreibung sind von erfindungswesentlicher Bedeutung.

-24-

Leerseite

Nummer: 27 27 173  
 Int. Cl. 2: G 01 D 5/243  
 Anmeldetag: 16. Juni 1977  
 Offenlegungstag: 30. März 1978

- 27 -

2727173

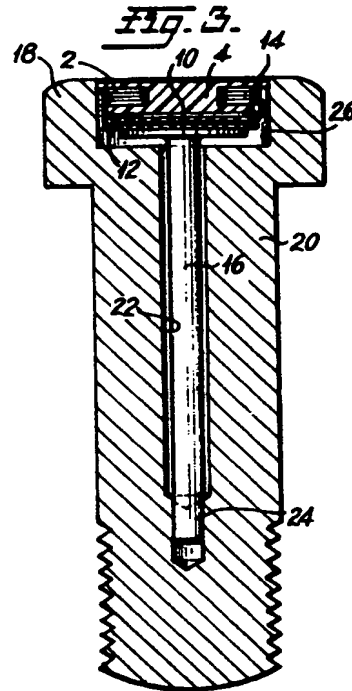
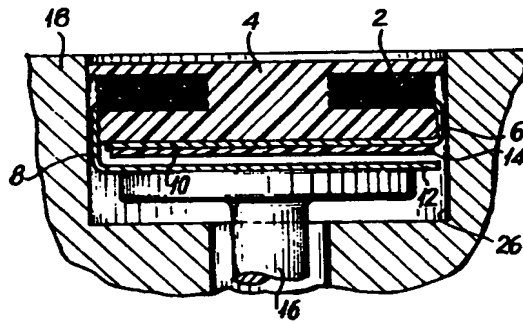
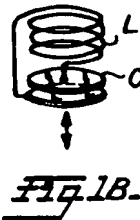
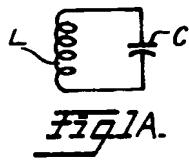


Fig. 4.

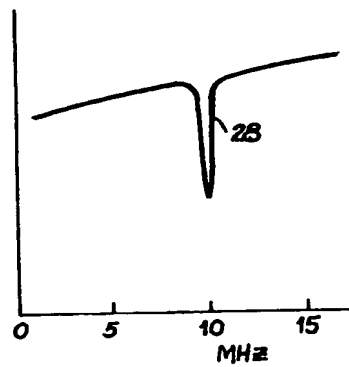
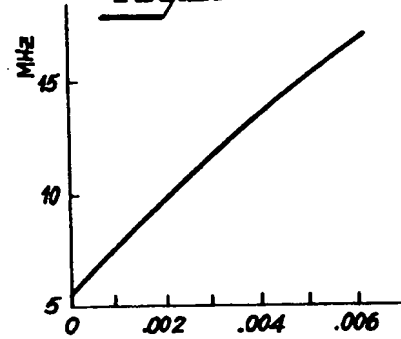


Fig. 5.



809813/0667



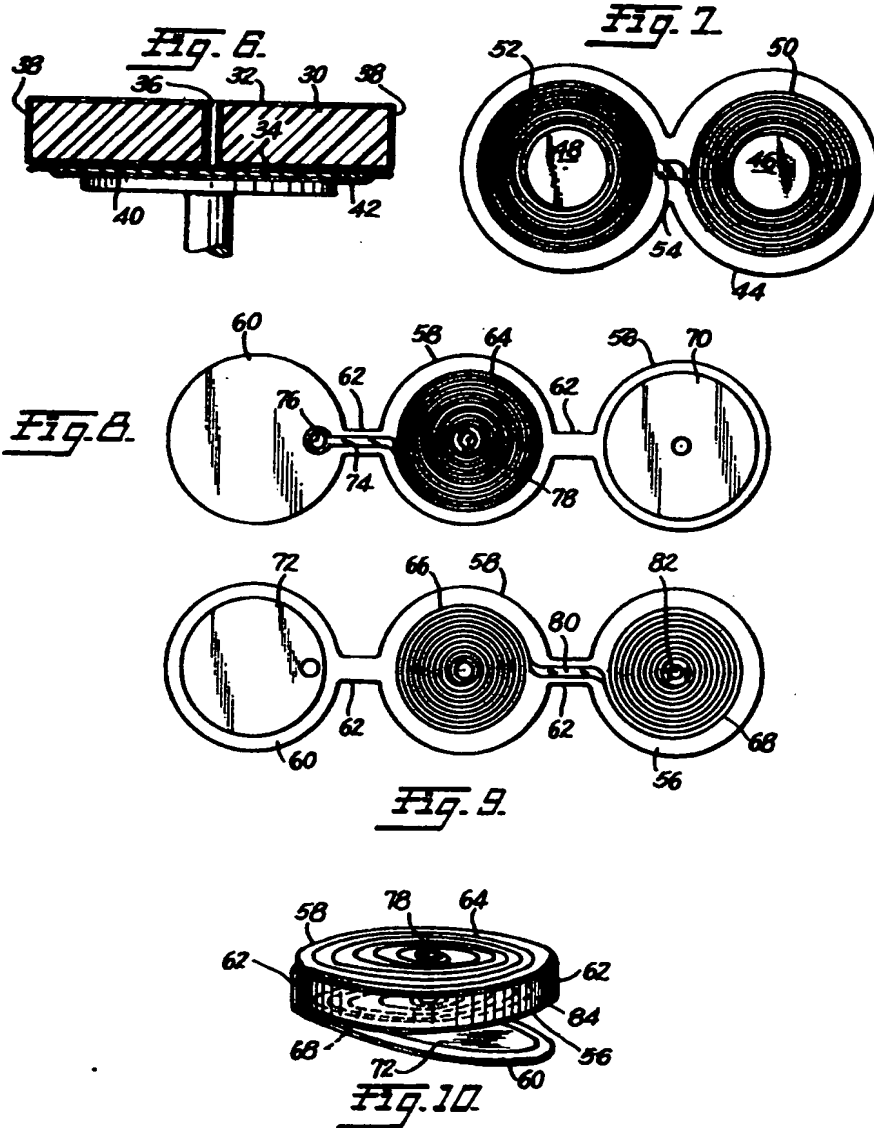
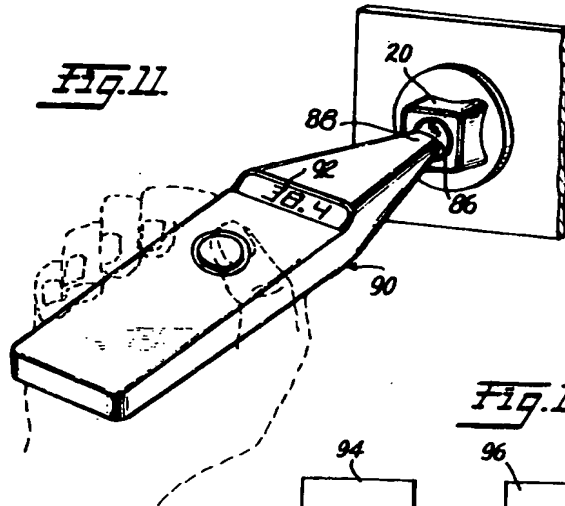
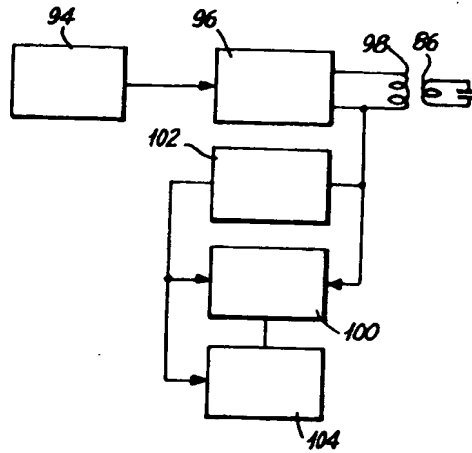
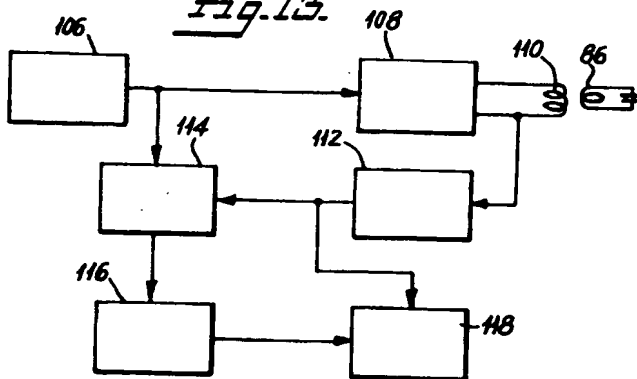


Fig. 11.Fig. 12.Fig. 13.

809813/0667